

УДК 669.15'26:621.785.616

**Е. С. Савушкина, К. Ю. Окишев \***

Южно-Уральский государственный университет (национальный  
исследовательский университет), г. Челябинск

\*okishevki@susu.ru

## О РАСТВОРЕНИИ И ВЫДЕЛЕНИИ КАРБИДОВ В ХРОМОМОЛИБДЕНОВЫХ ЧУГУНАХ

Представлены результаты термодинамических расчетов равновесных фаз в сплавах четверной системы Fe—Cr—Mo—C (2–4 %C, 10–25 %Cr и до 4 %Mo) в области существования  $\gamma$ -фазы. Расчеты проводились в программном пакете FactSage. Результаты показали, что ни в одном случае карбиды молибдена не возникают, хотя часто карбид  $M_7C_3$  частично или полностью заменяется карбидом  $M_{23}C_6$ . Присутствие всего двух видов карбидов значительно облегчает дальнейшее построение модели их растворения и выделения.

*Ключевые слова:* карбиды, аустенит, растворение, выделение, термодинамика, FactSage

**E. S. Savushkina, K. Yu. Okishev**

## ON THE SOLUTION AND PRECIPITATION OF CARBIDES IN CHROMIUM-MOLYBDENUM CAST IRONS

Results of thermodynamic modeling of equilibrium phases present in the four-component alloys Fe—Cr—Mo—C (2–4 %C, 10–25 %Cr, up to 4 %Mo) in the region of gamma phase existence. Calculations were performed using the FactSage software package. Results showed that in no case molybdenum carbides did not appear, though the  $M_7C_3$  carbide is often or completely replaced with the  $M_{23}C_6$  one. The presence of only two types of carbides makes it much easier the further construct the model of their solution and precipitation.

*Key words:* carbides, austenite, solution, precipitation, thermodynamics, FactSage

**В** предшествующей работе [1] была создана количественная модель выделения вторичной карбидной фазы в трехкомпонентных сплавах системы Fe—Cr—C, применяемых в качестве инструмен-

тальных сталей, износостойких чугунов и др. В основу анализа были положены взятые из литературных данных термодинамические описания тройной системы Fe—Cr—C [2] и изменение мартенситной точки сплавов в зависимости от времени выдержки при аустенитизации и от скорости закалочного охлаждения.

Однако многие практически используемые сплавы этой системы содержат небольшое количество других элементов (V, Mo, Ni, Mn), которые должны влиять на кинетику фазовых превращений. Современные компьютерные пакеты для термодинамических расчетов позволяют предсказывать равновесные состояния для систем из многих компонентов. В этой работе было проведено предварительное исследование четырехкомпонентной системы Fe—Cr—Mo—C (до 4 мас. %Mo) в области 2—4 %C и 10—25 %Cr. Именно эту широкую область составов охватывают данные атласа [3]. Расчеты проводились в программном комплексе FactSage.

Было показано, что ни в одном случае карбиды молибдена в области ( $\gamma + K$ ) не возникают, хотя во многих случаях карбид  $M_7C_3$  частично или полностью заменяется карбидом  $M_{23}C_6$ . Присутствие всего двух видов карбидов значительно облегчает дальнейшее построение модели их растворения и выделения.

### Литература

1. Созыкина А. С. Моделирование превращений при аустенитизации и закалке и прогнозирование твердости высокохромистых сталей и чугунов на основе термодинамических и кинетических расчетов : дисс. ... канд. техн. наук; спец. 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов». Науч. рук. К. Ю. Окишев. Челябинск : ЮУрГУ, 2018. 153 с.
2. Lee B.-J. On the stability of Cr carbides // Calphad. 1992. V. 16, № 2. P. 121—149.
3. Maratray F. Atlas: courbes de transformation de fontes blanches au chrome et au chrome-molybdène. Ussegliot-Nanot. Paris, Climax Molybdenum S. A., 1970. 198 p.